



PTX LAB FACTS

Rohstoffmix für eine nachhaltige Chemie

Power-to-X als Baustein einer fossilfreien Chemie

Nachhaltig produzieren – wie?

Die ideale zukünftige Chemikalienproduktion soll ressourcenschonend innerhalb der planetaren Grenzen und gemäß den Zielen der gemeinschaftlichen nachhaltigen Entwicklung stattfinden.¹⁻⁴ Die neun planetaren Grenzen sind ein Maß für die Erdgesundheit und beschreiben ökologische Belastbarkeitslimits, deren Überschreitung das Ökosystem und somit das Fortbestehen der menschlichen Existenz gefährdet. Ziele der nachhaltigen Entwicklung beinhalten politische Zielsetzungen und Maßnahmen, die die nachhaltige Entwicklung auf ökonomischer, sozialer und ökologischer Ebene sichern sollen. Die Wahrung der planetaren Grenzen erfordert neben einer Reduktion auch eine Umstellung auf eine nachhaltige Rohstoffbasis, welche die Kosten für Umwelt, Wirtschaft und Klima minimiert.⁵⁻⁷ Um Prozess- und Wertschöpfungsketten wirtschaftlich tragfähig aufzubauen, ist eine sorgfältige Untersuchung der Kosten einzelner Technologien und Kohlenstoffquellen nötig.⁸⁻¹⁰

88 Prozent der 710 Megatonnen (Mt) Kohlenstoff, die jährlich weltweit von der chemischen Industrie umgesetzt werden, sind fossil.

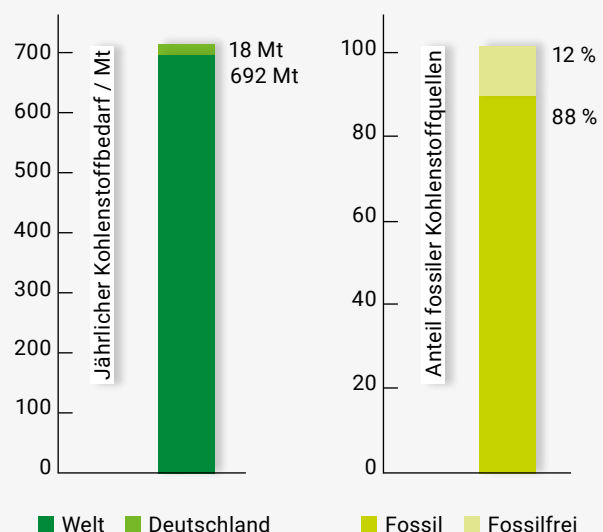


Abbildung 1: Kohlenstoffbasis der chemischen Industrie
RCI Carbon Flows Report 2023^{8, 9, 13} und DECHEMA 2022.²⁰

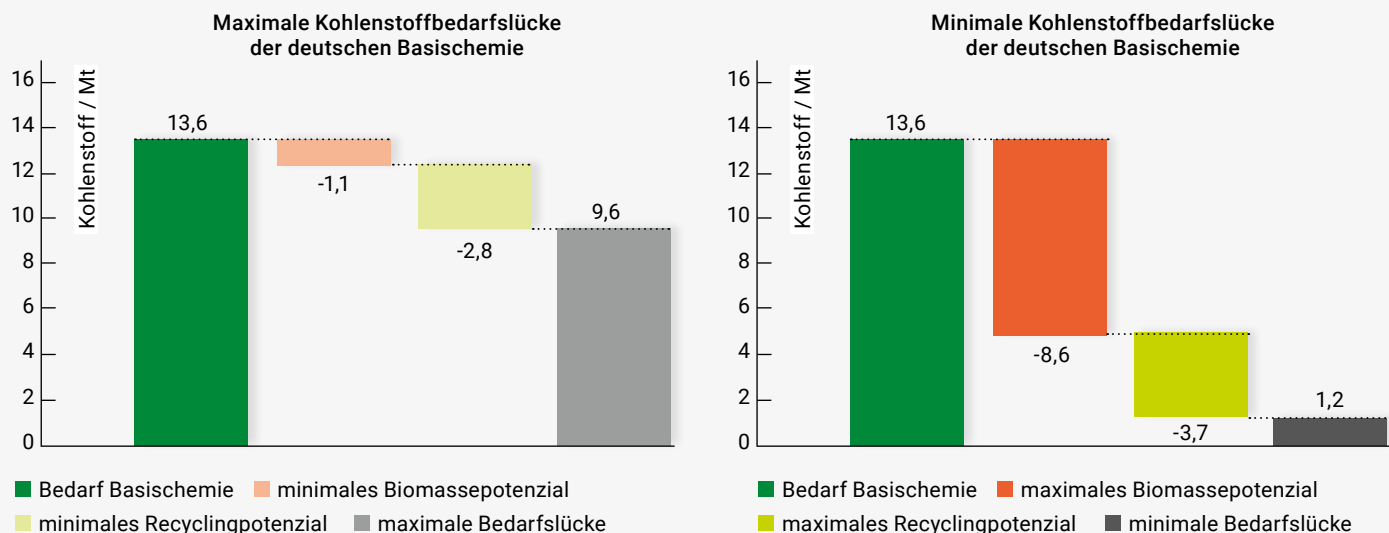


Abbildung 2: Kohlenstoffbedarfslücke der deutschen chemischen Industrie 2045

Werden ein minimales Potenzial (1,2 Mt) für biogene Rest- und Abfallstoffe (Biomasse) und eine minimale Kunststoff-Recyclingrate von 65 Prozent angenommen, ergibt sich eine maximale Bedarfslücke von 9,6 Mt für die Basischemie. Bei maximaler Verwendung von Biomasse inklusive Gülle (8,6 Mt) und einer maximalen Kunststoff-Recyclingrate von 85 Prozent schrumpft die Bedarfslücke auf 1,2 Mt für die Basischemie. Es wird davon ausgegangen, dass der Kohlenstoffbedarf der Spezialchemie 2045 bei 3,5 Mt liegt und durch nachwachsende Rohstoffe (zum Beispiel Rapsöl) gedeckt wird.²⁰ Eigene Berechnung nach DECHEMA 2022/2023^{6, 20} und Agora Industrie⁷.

Deren Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcen sollten systematisch über den gesamten Lebenszyklus der Produkte betrachtet werden.^{3, 11, 12}

Kohlenstoff: (noch) fossiler Grundbaustein

Kohlenstoff ist das wichtigste Element für die moderne Chemie und wird in nahezu allen Grundstoffen benötigt. Heute sind 88 Prozent der jährlich weltweit benötigten 710 Megatonnen Kohlenstoff fossil (siehe Abbildung 1).¹³ Die Nutzung fossiler Kohlenstoffquellen ist mit Risiken für Luft, Wasser, Biodiversität sowie Gesundheit verbunden und gefährdet die Ziele der nachhaltigen Entwicklung.^{14–16} Kohlenstoff wird in Chemikalien und Produkten gebunden und am Ende der Lebenszeit meist als CO₂ wieder freigesetzt. Diese nachgelagerten Emissionen sind für Basischemikalien aufgrund der tiefen Wertschöpfungskette dreimal höher als die direkten Emissionen aus der Produktion.^{1, 7} Mit einem durchdachten Kohlenstoffmanagement lassen sich diese Kohlenstoffflüsse ausgleichen. Dadurch wird nur soviel CO₂ freigesetzt wie der Atmosphäre entnommen wird (NetZero).

Defossilisierung der Chemie

Anders als fossiler Kohlenstoff wird erneuerbarer Kohlenstoff aus Biomasse, Recycling oder Carbon Capture and Utilization (CCU) gewonnen.^{5, 6} Doch bevor auf erneuerbaren

Kohlenstoff umgestellt wird, sollten die Potenziale der Bedarfsreduktion und Limitierung des Chemikalienbedarfs Vorrang haben und ausgeschöpft werden. Das sind die ressourcenschonendsten Strategien mit den geringsten Umweltauswirkungen und Kompromissen.^{2, 17, 18}

Durch Biomasse lassen sich maximal 63 Prozent des Kohlenstoffbedarfs der chemischen Grundstoffindustrie decken (siehe Abbildung 2).^{6, 7}

Durch Recycling können bei einer Kunststoff-Recyclingquote von 85 Prozent weitere 27 Prozent des Kohlenstoffbedarfs bedient werden.^{6, 19, (A)}

Die Potenziale von Biomasse und Recycling in Deutschland sind beschränkt und unterliegen starken Nutzungskonkurrenzen mit anderen Sektoren, zum Beispiel als Biokraftstoffe für Luft- und Schifffahrt oder als Sekundärrohstoffe.^{6, 7, 22} Diese Nutzungskonkurrenzen werden sich in Zukunft verstärken. Sogar wenn die Nutzungskonkurrenzen unberücksichtigt bleiben und die Potenziale einzig der chemischen Industrie zur Verfügung gestellt werden, hinterlassen sie eine Bedarfslücke, die durch Power-to-X(PtX)-Anwendungen gedeckt werden könnte (siehe Abbildung 2).²² Durch Maßnahmen der Reduktion und Substitution (R&S) von Chemikalien könnte die Bedarfslücke zusätzlich ressourcen- und energieschonend reduziert werden.^{2, 4, 17, 18, (B)}

(A) Es wurde ein maximal verfügbares Potenzial an biogenen Rest- und Abfallstoffen von 48 Mt⁷ (Stroh, Holz, Gülle) und minimal von 6,4 Mt⁶ (Stroh, Holz) angenommen sowie ein Kohlenstoffgehalt der Biomasse von 50 Prozent und eine Prozesseffizienz von Biomasse zu Chemikalien von 36 Prozent⁷. Der gesamte Kohlenstoffbedarf der Basischemie wird 2045 mit 13,6 Mt prognostiziert und für die gesamte chemische Industrie in Deutschland mit 17,1 Mt.²¹

(B) Meng et al. 2023⁴ berechnet ein Potenzial für die Bedarfsreduktion durch R&S von 15,5 bis 24 Prozent des globalen Basischemikalienbedarfs. Mit den Annahmen aus dem Demand-Model des LC-NFAX-Szenarios von Meng et al. 2023 könnte der Kohlenstoffbedarf in Deutschland um ca. 2,4 Mt reduziert werden.



Power-to-Chemicals

Nachhaltige Power-to-Chemicals-Routen nutzen grünen Wasserstoff und eine erneuerbare CO₂-Quelle zur Herstellung chemischer Grundstoffe wie Methanol, Olefine und Aromaten.^{8, 23, 24} Sie gehen mit einem höheren Land- und Wasserverbrauch einher, verglichen mit der Herstellung über die fossile Route. Die PtX-Route beansprucht aber deutlich weniger Land- und Süßwasserressourcen als die Biomasseroute (siehe Abbildung 3). Verglichen mit fossilen Routen benötigt die Kohlenstoffbereitstellung über PtX 40- bis 70-mal so viel erneuerbare Energie (siehe Abbildung 3)^{2, 25}, deren Bereitstellung ressourcenintensiv ist.

Dies schlägt sich in den Kosten für PtX-Chemikalien nieder – der Preis für Aromaten und Olefine wird durch notwendige CCU-Technologien bis 2050 um 50 bis 200 Prozent steigen. Für die meisten Endprodukte wird eine Kostensteigerung im einstelligen Prozentbereich erwartet.^{1, 26} Neben der Suffizienz sollte dieser Weg nur dann eingeschlagen werden, wenn die Potenziale für Biomasse und Recycling bereits erschöpft sind.^{1, 26} Auch wird mehr grüner Wasserstoff (22–45 TWh im Jahr 2030, 148–283 TWh im Jahr 2050)^{6, 27, 28} benötigt als innerhalb Deutschlands erzeugt werden kann (28 TWh bis 2030)^{29, 30, (C)}, sodass Importstrategien und Energiepartnerschaften für die Deckung des Bedarfs notwendig sein werden.

(C) Der Wasserstoff-Kompass erwartet bei 4.000 Volllaststunden und einem Elektrolysewirkungsgrad von 70 Prozent, dass bei dem politischen Ziel von 10 GW Elektrolysekapazität bis 2030 entsprechend 28 TWh Wasserstoff in Deutschland erzeugt werden.

Ausblick

Es gilt, entsprechende H₂- und CO₂-Infrastrukturen aufzubauen.^{6, 31, 32} Bestehende fossile Infrastrukturen (Pipelines, Raffinerien, Steamcracker) sollten dabei nach Möglichkeit umgerüstet und weitergenutzt werden.³³ Dadurch werden Synergien mit existierenden petrochemischen Clustern genutzt und deren Transformation unterstützt. Das kann fossile Lock-In Effekte reduzieren und gleichzeitig Arbeitsplätze und Wertschöpfungsketten in den Regionen erhalten.

Anteil benötigter Ressourcen zur Deckung des globalen Chemikalienbedarfs über die entsprechende Route an gesamten Ressourcen

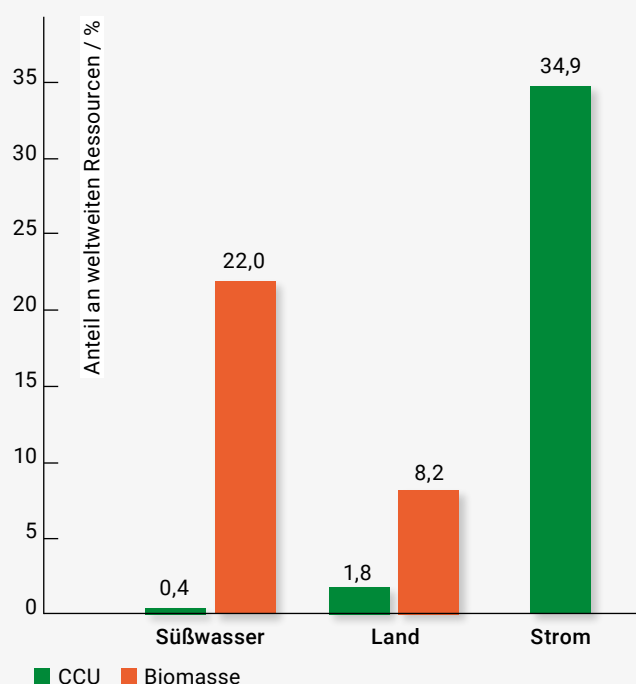


Abbildung 3: Ressourcen CCU vs. Biomasse: Ressourcenverbrauch für Biomasse- bzw. PtX-Routen nach Gabrielli 2020²⁵, Gabrielli 2023², IEA World Report 2022²², Kätelhön 2019³⁴.



Das **Literaturverzeichnis** finden Sie hier:
ptxlablausitz.de/literaturverzeichnis

Herausgeber

PtX Lab Lausitz – Praxislabor für Kraft- und Grundstoffe aus grünem Wasserstoff

Das PtX Lab Lausitz ist ein Geschäftsbereich der Zukunft – Umwelt – Gesellschaft gGmbH (ZUG) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Sitz der Gesellschaft: Robert-Schuman-Platz 3, 53175 Bonn

Bildnachweise: Erik Krüger, iStock/xijian

Inhaltlich verantwortlich: Fachgebiet Kommunikation Klimaschutz

Gestaltung: Tinkerbelle GmbH, Berlin/Köln

Stand: April 2024

Kontakt

PtX Lab Lausitz – Praxislabor für Kraft- und Grundstoffe aus grünem Wasserstoff

Calauer Straße 70 • 03048 Cottbus

Telefon: +49 355 478 89 131

E-Mail: PTX_Lab@z-u-g.org

Internet: www.ptxlablausitz.de

Alle Informationen und Hinweise in dieser Veröffentlichung stammen – wenn nicht anders gekennzeichnet – ausschließlich vom PtX Lab Lausitz und seinen Mitarbeiter*innen.